



“End-of-Pipe treatment” y “residual resource”

Letelier-Gordo, Carlos Octavio

Published in:
Salmonexpert

Publication date:
2017

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Letelier-Gordo, C. O. (2017). “End-of-Pipe treatment” y “residual resource”. *Salmonexpert*, 47(7), 50-56.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Oferta y consumo interno de salmón

Foto: Pixabay.



Oferta de salmón en el mercado interno

Página 10

¿Por qué comemos poco pescado?

Página 14

Inocuidad alimentaria en la industria salmonicultora

Página 20

Islas genómicas en cepas chilenas de *P. Salmonis*

Página 40

Postales del mercado

Argentina: nuevas fronteras para el salmón chileno

Página 32

Dirección
POBox 4084, Sandviken. 5835 Bergen, Noruega.
Teléfono: (+47) 55 54 13 00
www.salmonview.com

CHILE
Dirección: Serrano 220, Puerto Montt
Teléfono: (+56) 65 234 9324

Editor Ejecutivo Erich Guerrero Geisse
erich@salmonexpert.cl (+56) 9 5689 5259
Editora Web Daniella Balin Fürst
daniella@salmonexpert.cl (+56) 9 9250 1766
Redactor Técnico Patricio Feest F.
patricio@salmonexpert.cl (+56) 9 7408 6096
Periodista Loreto Appel
loreto@salmonexpert.cl (+56) 9 7767 5830
Periodista Jonathan Garcés
jonathan@salmonexpert.cl (+56) 9 7182 3456
Key Account Manager Cristian Sepúlveda
cristian@salmonexpert.cl (+56) 9 5689 5309
Key Account Manager Daniela Reyes Blanco
daniela@salmonexpert.cl (+56) 9 9200 6720
Diseñador Gráfico Said Kalil Cull
said@salmonexpert.cl (+56) 9 3032 5091
Diseñadora Gráfica Evelyn Charles Gutiérrez
evelyn@salmonexpert.cl (+56) 9 9024 4613

NORUEGA
Editor General Gustav-Erik Blaallid
gustav@kyst.no (+47) 9163 9142
Editor Revista Pål Mugaas Jensen
palmj@kyst.no (+47) 9828 3345
Editora Web Linn Therese Skår Hosteland
linn@kyst.no (+47) 4061 7342
Periodista Therese Soltveit
therese@kyst.no (+47) 9762 5908
Ejecutiva de Ventas Inger Jo Tellefsen
ingerjo@kyst.no (+47) 4520 8234
Ejecutiva de Ventas Heidi Angell Jakobsen
heidi@kyst.no (+47) 9092 3526
Ejecutivo de Ventas Jorge Piazza
jorge@kyst.no (+47) 9092 3526
Gerente de Ventas Laila Indrebø
laila@kyst.no (+47) 9011 1558

REINO UNIDO
Editor Rob Fletcher
rob@fishfarmingexpert.com (+44) 778 717 6428

ELABORADA POR Salmonexpert SPA
IMPRESA EN Trama Impresores S.A.
SUSCRIPCIÓN 2017 \$ 55.000 + IVA

© Salmonexpert SpA. Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta publicación periódica, por cualquier medio o procedimiento, sin para ello contar con la autorización previa, expresa y por escrito del editor. Toda forma de utilización no autorizada será perseguida de acuerdo a la ley. Los artículos, así como su contenido, su estilo y las opiniones expresadas en ellos, son responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan la opinión de Salmonexpert SpA.

Editorial

¿Qué pasaría si...? 7

Columna

Inocuidad, un desafío de cooperación para la industria 9

Reseña local

Oferta de salmón en el mercado interno 10

¿Por qué comemos poco pescado? 14

Inocuidad alimentaria en la industria salmonicultora 20

Exportación de productos y servicios acuícolas 26

Postales del mercado

Argentina: nuevas fronteras para el salmón chileno 32

I+D

Diferencias epidemiológicas y fenotípicas de los aislados tipo EM-90 de *Piscirickettsia salmonis* 34

Identificación de islas genómicas en cepas chilenas de *Piscirickettsia salmonis* 40

Estructura de tallas en poblaciones de *smolt* y peces cosechados: análisis básico de curvas de probabilidad de frecuencias 46

“End-of-Pipe treatment” y “residual resource” - dos conceptos necesarios y que toman fuerza en el tratamiento de efluentes acuícolas 50

Indicadores productivos

Prebalance productivo de la industria del salmón actualizado a enero de 2017 56

“End-of-Pipe treatment” y “residual resource”

- dos conceptos necesarios y que toman fuerza en el tratamiento de efluentes acuícolas

Carlos Octavio Letelier-Gordo
PhD Cand - Recirculating Aquaculture Systems and Nutrients Removal
Technical University of Denmark
National Institute of Aquatic Resources
colg@aquadtu.dk

Introducción

La sustentabilidad¹ ambiental de la industria acuícola, ha sido foco de discusión respecto de alteraciones a los ecosistemas los cuales han sido expuestos a las descargas de nutrientes y materia orgánica en cuerpos de agua lacustres y marinos (Martins y col., 2010; Van Rijn, 2013). En este sentido, si la industria acuícola tiene como objetivo lograr un mayor nivel de sustentabilidad, esta deberá desarrollar una producción rentable, al mismo tiempo, desacoplarse de los impactos ambientales asociados, asegurando que estos últimos no sobrepasen la capacidad de carga intrínseca de los sistemas acuíferos naturales donde los contaminantes son descargados.

En el caso de Europa y especialmente los países del Báltico, la industria acuícola se ha visto forzada a optimizar

los métodos de producción (mejorando la digestibilidad de las dietas y los factores de conversión alimenticia), como también implementando, cada vez más, tratamientos para reducir los nutrientes (nitrógeno y fósforo) y materia orgánica descargada desde los sistemas de recirculación (Jokumsen y Svendsen, 2010). Si bien la imposición de estas regulaciones ha sido, en los últimos años la causal mayoritaria del estancamiento de la producción acuícola en los países del Báltico, estas mismas regulaciones ambientales han forzado al sector a ser más eficiente (Dalsgaard y col., 2013). En consecuencia, nace el concepto de *End-of-Pipe treatment* (traducido al español: tratamiento al final de la tubería) que con el tiempo ha tomado cada vez mayor fuerza.

End-Of-Pipe treatment se refiere al tratamiento de las sustancias contaminantes generadas durante el

¹ Sustentabilidad se define como la capacidad tecnológica para cumplir con nuestras necesidades actuales sin comprometer la capacidad de generación futura para el cumplimiento de sus necesidades.

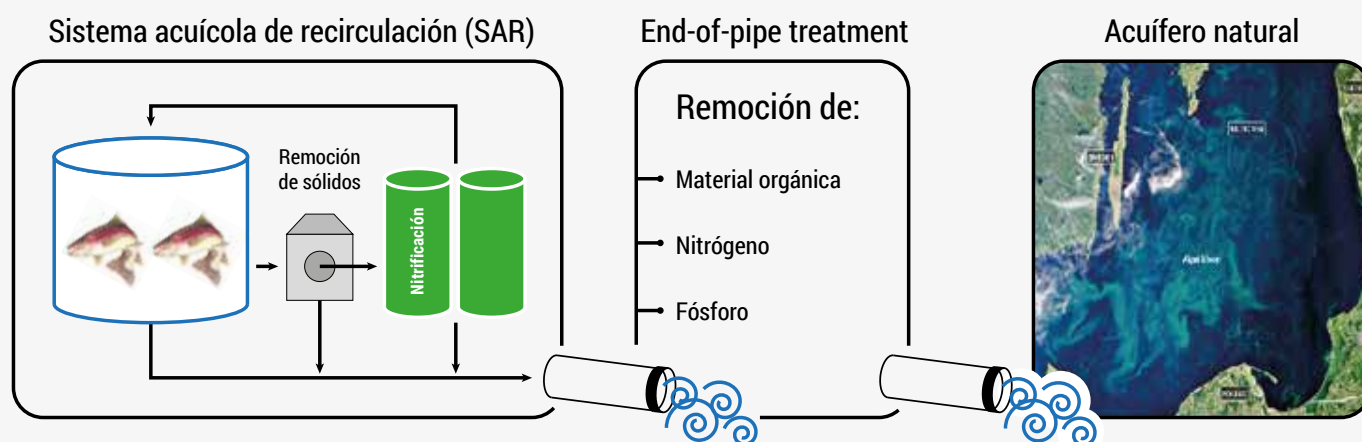


Figura 1: Esquema del concepto *End-of-Pipe treatment*.

proceso productivo, al final de la cadena de producción (Glavic and Lukman, 2007). El concepto, aplicado a la industria acuícola, se traduce en hacerse cargo in situ de los efluentes descargados que contienen nutrientes (nitrógeno (N), fósforo (P)) como materia orgánica (Fig. 1). De esta forma, se evita el desplazamiento de estos contaminantes a otros sistemas ambientales no controlados como, por ejemplo, la descarga de lodos a vertederos.

Actualmente, el mayor desafío que debe sortear la industria en términos de tratamiento de contaminantes (tanto para sistemas de agua dulce como salina) es la eliminación de Nitrógeno Total (NT). Aproximadamente, entre el 15-50% del NT puede ser removido con la mejor tecnología disponible. En el caso de Fósforo Total (PT) y materia orgánica, los desafíos son menores ya que los sistemas de tratamiento disponibles logran remover entre 20-90% del PT y el 20-94% de la materia orgánica producida respectivamente (Jokumsen and Svendsen, 2010). Es importante destacar que las normas ambientales en Dinamarca regulan principalmente la descarga de estos tres parámetros (N, P y materia orgánica (DBO₅)) en términos de masas descargadas anualmente (kg/año) y no en términos de concentraciones descargadas (ej. mg/L), siendo el enfoque correcto en términos de impacto ambiental. En Dinamarca, las cantidades de contaminantes a descargar están regidas de acuerdo al nivel de sensibilidad intrínseca del lugar

en donde se desarrolla la actividad. Por ejemplo, en zonas en donde los niveles de nutrientes encontrados en forma natural son más altos (zonas eutrofizadas) y, por ende, más propensos a floraciones algales, los requisitos de calidad del agua descargada son mayores. Actualmente esto es regulado de dos formas: 1) restringiendo la cantidad de alimento que el centro puede entregar o, en otras palabras, restringiendo la capacidad productiva; y 2) dependiendo de la tecnología de tratamiento instalada en el centro de cultivo y su capacidad de remoción, denominado en inglés “*best available technology*” (Danish Ministry of Environment, 2012).

El siguiente artículo entregará una breve reseña de los sistemas de tratamientos actualmente en desarrollo para la remoción de N, P y materia orgánica, desafíos y tendencias a desarrollar. Se hará un énfasis especial en el concepto desarrollado por DTU Aqua (sección de acuicultura de la Universidad Tecnológica de Dinamarca) que consiste en transformar la materia orgánica descargada en un nuevo recurso, siguiendo el concepto de “recurso residual” (*residual resource*), el cual busca ofrecer soluciones tecnológicas costo-efectivas para el tratamiento en la fase *End-of-pipe treatment* para la industria acuícola (Fig. 2).

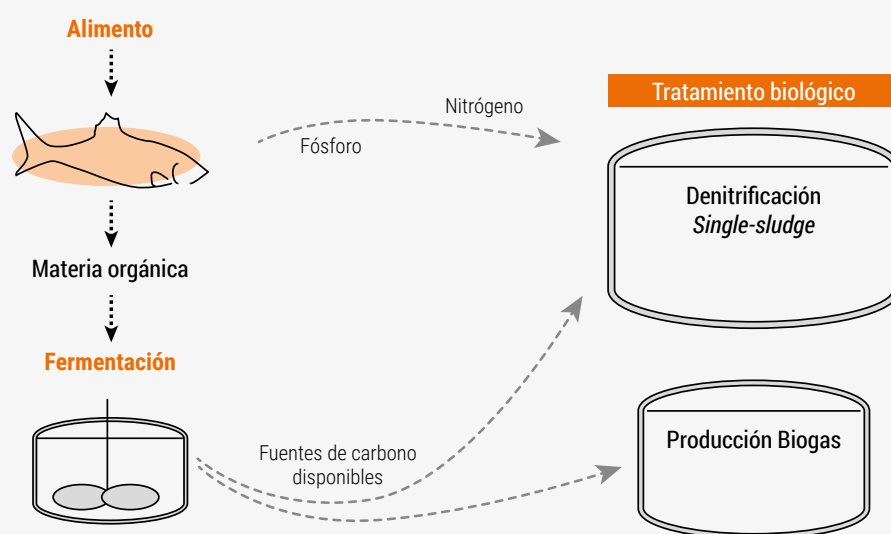


Figura 2: Esquema del concepto *residual resource*.

El concepto consiste en que la materia orgánica es sometida a un proceso de fermentación, donde se producen diferentes tipos de compuestos orgánicos (P. ej. ácidos grasos volátiles (AGV)) o alcoholes como etanol, que posteriormente pueden ser utilizados en procesos de desnitrificación y/o producción de energía (biogás). Así, la materia orgánica considerada como desecho se convierte en un recurso, permitiendo a través de procesos biológicos/biotecnológicos el tratamiento de los nutrientes descargados (N y P), sin la necesidad de incorporar insumos o recursos externos como comúnmente es el caso de metanol adquirido comercialmente para el proceso de desnitrificación.

1. Sistemas de Tratamiento *end-of-pipe*

1.1 Desnitrificación *single-sludge* (remoción de nitrato y materia orgánica)

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, la remoción de nitrógeno total en las descargas de los centros acuícolas es el mayor desafío que la industria debe afrontar para cumplir con las regulaciones ambientales. La adopción de biofiltros nitrificantes, ha permitido incrementar la intensidad de uso del agua en los sistemas de recirculación. El nitrato (NO_3^-) es el producto final de este proceso, constituyendo más del 80% del nitrógeno total descargado (Diaz y col., 2012) y, por lo tanto, la mayor especie nitrogenada a reducir en un efluente con tecnología de recirculación de agua. Comúnmente, el nitrato (NO_3^-) no posee efectos tóxicos inmediatos en los organismos cultivados, pero una vez descargado a ríos, lagos o sistemas marinos, este puede ser asimilado y convertido en amonio (NH_4^+) por microalgas, a través de reducción asimiladora de nitrógeno (van Rijn, 2013), provocando floraciones algales no deseadas que finalmente pueden generar el colapso de ecosistemas naturales. La desnitrificación es un proceso microbiológico ampliamente conocido en el tratamiento de aguas municipales e industriales. Este proceso puede ser heterotrófico o autotrófico. El proceso

heterotrófico consiste en bacterias que utilizan compuestos orgánicos para transformar el nitrato (NO_3^-) a gas nitrógeno (N_2). Aquí la tecnología utilizada es, por ejemplo, los *wetlands* (Jokumsen and Svendsen, 2010) y la tecnología “*single-sludge*” (Suhr y col., 2012). Esta última considera la utilización de la materia orgánica producida por el pez como fuente de carbono para promover la desnitrificación en reactores controlados. El proceso autotrófico, empleando *woodchips*, consiste en la creación de poblaciones de bacterias que crecen en micro nichos de la madera, utilizando sulfato en vez de materia orgánica para realizar la desnitrificación (von Ahnen y col., 2016)

Comúnmente, los carbonos simples como el acetato o el metanol son comercialmente adquiridos y adicionados a los reactores desnitrificadores. Sin embargo, esta práctica aumenta los costos de producción desmotivando la aplicación de estas tecnologías. La materia orgánica producida por los peces, tiene el potencial de ser utilizada como una fuente de carbono para el proceso de desnitrificación (Arbiv and van Rijn, 1995; Suhr y col., 2012; Letelier y col., 2015). A través de un proceso de fermentación, es posible producir diferentes fuentes de carbono de alta calidad como acetato, butirato, valerato y etanol (Letelier y col., 2017).

La tecnología *single-sludge* está siendo evaluada a nivel comercial, tanto en agua dulce como en agua salina. Para el caso de agua dulce en un sistema para el cultivo de 1.000 toneladas métricas por año de trucha arcoíris, un reactor desnitrificador con biomedio remueve entre 91-125 g N/ m^3 de reactor, con tiempos de retención hidráulica de 98 minutos (Suhr y col., 2012). Si bien estos sistemas tienen la ventaja de reducir simultáneamente el NT como la materia orgánica, también se encuentran desventajas como la dependencia de la cantidad y calidad de la materia orgánica que puede ser recolectada desde el sistema de cultivo, y la reducción del oxígeno disuelto en el agua a tratar, cuyos niveles deben ser menores a 1 mg O_2/L para producir la desnitrificación.

Actualmente se continúa trabajando en esta tecnología para su aplicación en sistemas marinos (salinidad de 27 ‰) y bajo diferentes configuraciones, como por ejemplo lodos activados (Fig. 3a). Los resultados han demostrado que estos sistemas son capaces de remover 313 g N/m³ reactor (Fig. 3b), trabajando con acetato como fuente de carbono. Estos sistemas tienen la ventaja de no requerir biomedios para la mantención de las bacterias, evitando el colapso de los reactores por acumulación de materia orgánica particulada y en donde el área requerida para estos sistemas es 13% menor que la utilizada por un sistema con biomedio.

1.2 Floculación (remoción de P)

La floculación es el proceso en donde se emplean sales metálicas como cloruro de hierro (FeCl₃) y sulfato de aluminio (AlSO₄) para la desestabilización de las partículas suspendidas. En los sistemas de recirculación, aproximadamente 50 - 85% del PT se encuentra en la materia orgánica descargada por los efluentes (Daalsgard y col., 2011). Es por esta razón, que la aplicación de floculantes acelera la sedimentación de la materia orgánica (indirectamente el PT) para su posterior remoción y disposición. La capacidad de estos floculantes para la remoción de sólidos suspendidos totales y PT dependen de las características del agua a tratar. En este sentido, para el caso de agua dulce se han reportado remociones de sólidos suspendidos totales de un 90% a una dosis de 90 mg/L de FeCl₃ o AlSO₄ (Ebeling y col., 2003). En el caso de agua salobre (salinidad de 17‰), remociones de más de 80% para PT y ortofosfato han sido reportadas con dosis de 12.6 mg Al/L y 27.6 mg FeCl₃/L (Zhang y col., 2014). Para el caso de agua de mar, con una salinidad de 25 ‰, se ha registrado una mayor eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos totales y PT. Solamente por efecto de agitación los sólidos decantan naturalmente con una eficiencia alrededor de un 80%. Esto, debido a la mayor cantidad de iones que el agua de mar posee, reduciendo el potencial zeta de la partícula (Letterman, 1999). Si bien la remoción de sólidos suspendidos totales se ve mejorada bajo mayores salinidades (Fig. 4a), para lograr un 80% de remoción

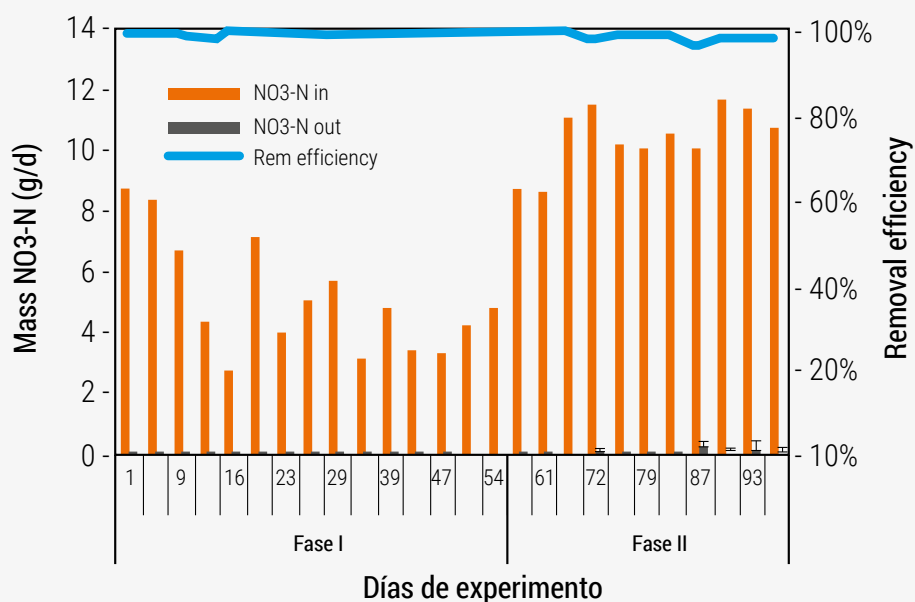


Figura 3: a) Sistema de lodos activados para agua de mar. b) Remoción de nitrato en sistema lodos activados en agua de mar.

de ortofosfato disuelto, se requiere una dosis de 5:1 (mol:mol) de Al:PO₄ o Fe:PO₄. (Fig. 4b).

Es importante destacar que, de acuerdo a resultados preliminares, una sobredosis de sales metálicas aumenta considerablemente la producción de lodo, lo cual es contra productivo debido a que estos posteriormente deben ser tratados o desplazados, influyendo finalmente en los costos relacionados a su manipulación.

1.3 Biogás (remoción de materia orgánica y producción de energía)

Debido a la intensificación de los sistemas de recirculación, el tratamiento de los lodos es cada día más relevante. Entre los sistemas comúnmente utilizados para el manejo de lodos están los geotextiles, filtro prensas y sistemas de floculación (Mirzoyan y col., 2010). El objetivo de estos

es concentrar la materia orgánica para su posterior disposición en plantas de tratamiento, como fertilizante para tierras para cultivo o últimamente plantas que producen biogás. La digestión anaeróbica (proceso biológico donde se produce el biogás) es un proceso natural realizado por microorganismos anaeróbicos facultativos y obligatorios. Este proceso es ventajoso para el tratamiento de

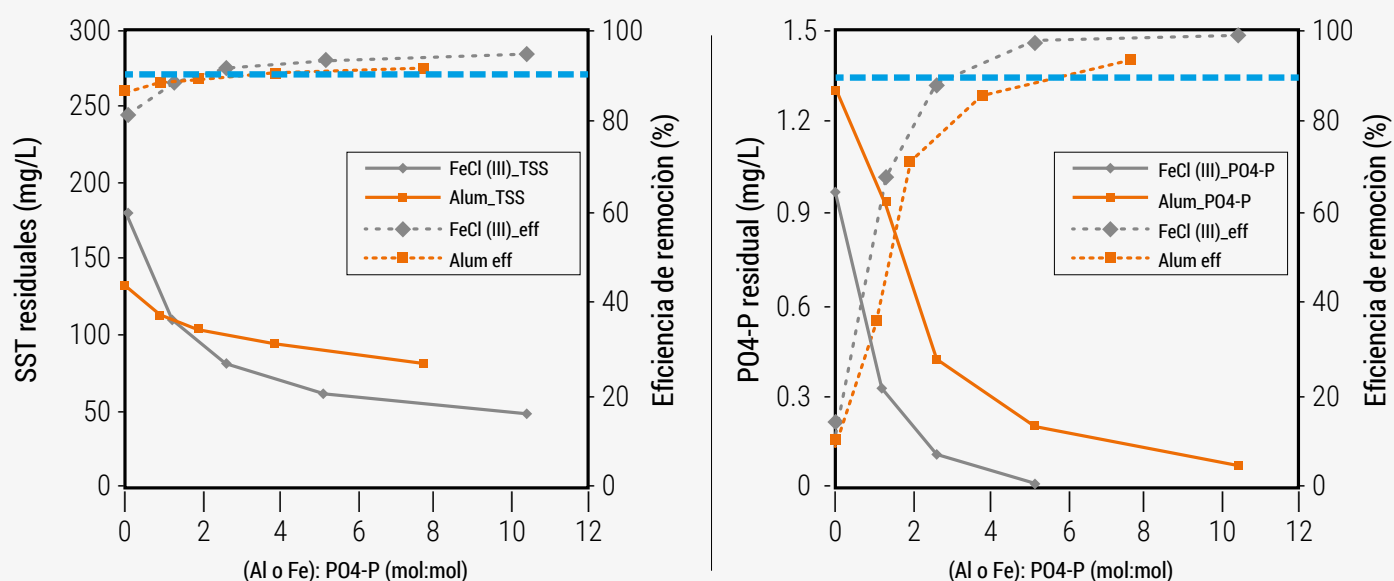


Figura 4. a) Dosis de floculante y eficiencia en remoción de sólidos suspendidos totales (SST) en agua de mar (salinidad de 27‰) b) Dosis de floculante y eficiencia en la remoción de ortofosfato en agua de mar (salinidad de 27‰). El eje X representa el ratio de dosificación entre el coagulante y ortofosfato, el eje Y de la izquierda representa la concentración residual de ortofosfato después de la remoción y el eje Y de la derecha, la eficiencia de remoción.

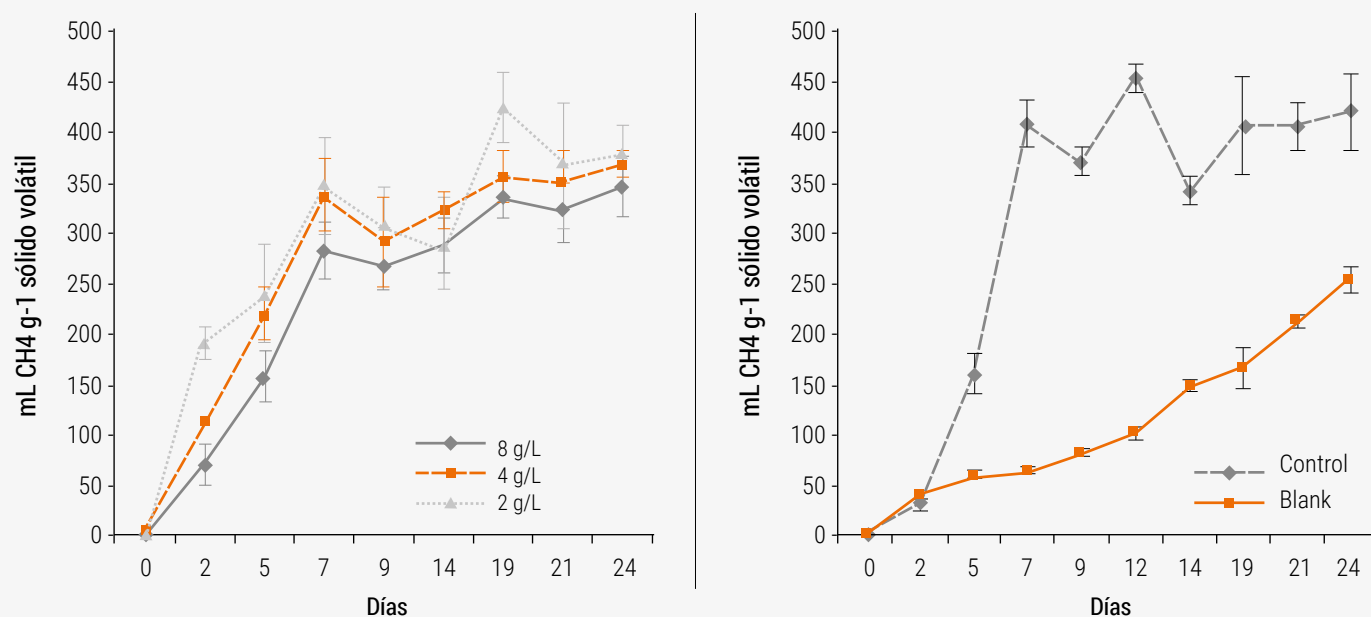


Figura 5. a) Potencial bioquímico de metano en sólidos de trucha arcoíris b) Potencial bioquímico de metano en el control (Avicel) y el blanco. (Fuente: Suhr y col., 2012, Aquaculture Engineering 65, 65-71).

sólidos orgánicos ya que reduce hasta un 80% la demanda bioquímica de oxígeno y al mismo tiempo entrega la alternativa de producir energía (biogás) (Angelidaki y col., 2009). En experimentos realizados para la determinación del potencial bioquímico de metano (CH₄) en condiciones mesofílicas (35 °C), se ha registrado que los lodos acuícolas provenientes de sistemas de agua dulce (trucha arcoíris) tienen la capacidad de producir en promedio 353 mL CH₄/g sólidos volátiles en un tiempo de retención hidráulica de 19-24 días (Fig. 5a) (Suhr y col., 2015). Valores similares se obtuvieron con el control estándar (Avicel; 468 mL CH₄/g) (Fig. 5b).

Se ha estimado a partir de estos resultados que se pueden producir 0,14kW por litro de lodo acuícola, demostrando de esta forma el gran potencial que tiene la materia orgánica como recurso residual para la producción de energía. Sin embargo, en la realidad, los centros de cultivo no están preparados para desarrollar este proceso. Es por esto que en Dinamarca la práctica más común es entregar los lodos a plantas de biogás municipales con la condición de que los costos de transporte los asuma la planta de biogás. Por otro lado, unos de los problemas que están enfrentando los centros con sistemas de recirculación marina es la alta salinidad y cantidad de sulfatos que contiene el lodo, situación que eventualmente puede impactar nocivamente el funcionamiento de una planta de biogás. Estos factores se están investigando y prontamente se espera cuantificar el potencial del biogás de lodos acuícolas salinos y así, determinar hasta qué punto estos pueden impactar negativamente la operación normal de una planta de biogás.

2. Conclusiones y perspectivas a futuro.

Las diferentes tecnologías presentadas forman parte de una amplia gama de tecnologías que se están evaluando, desarrollando y aplicando en el tratamiento de “*End-of-pipe treatment*” para sistemas de recirculación acuícola de agua dulce y de mar. Estas tecnologías poseen ventajas y desventajas, en

donde ciertas tecnologías son capaces de remover simultáneamente la materia orgánica como los nutrientes N (desnitrificación *single-sludge*), solamente materia orgánica, como es el caso del biogás o, simplemente, tienen un efecto de concentración de sólidos e indirectamente remoción de fósforo (floculantes). La aplicación correcta de estos sistemas responde principalmente a las necesidades ambientales y tipos de sistemas de cultivos empleados. Los parámetros que definen qué tipo de sistema es el más idóneo a ser utilizado recaen principalmente en la intensidad de agua recirculada del sistema (m³ agua renovada/kg alimento) y sus propiedades intrínsecas en términos de las proporciones C:N:P, como del espacio disponible para su tratamiento. De esta forma la investigación en DTU Aqua busca entregar soluciones tecnológicas costo-efectivas para el tratamiento en la fase *End-of-pipe treatment* para la industria acuícola fomentando la sustentabilidad ambiental de esta última •

Agradecimientos

Parte de los resultados mostrados fueron financiados por el proyecto WASTE-TREAT “Soluciones costo efectivas para el tratamiento *End-Of-Pipe* en sistemas de recirculación marina”, GUDP (34009-14-0827). Ministerio de Alimento, Agricultura y Pesca, Dinamarca.

Referencias

Angelidaki, I. Alves, M. Bolzonella, D. Borzacconi, L. Campos, J.L. Guwy, A.J. Kalyuzhnyi, S. Jenicek, P. and van Lier, J. B. 2009. Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: a proposed protocol for batch assays. *Water Science & Technology* 59.5: 927 – 934.

Arbiv, R., van Rijn, J., 1995. Performance of a treatment system for inorganic nitrogen removal in intensive aquaculture system. *Aquacultural Engineering* 14, 189-203.

Dalsgaard, J., Pedersen, P.B., 2011. Solid and suspended/dissolved waste (N, P, O) from rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 313, 92-99.

Dalsgaard, J., Lund, I., Thorarinsdottir, R., Drengstig, A., Arvonen, K., Pedersen, P.B., 2013. Farming different species in RAS in Nordic countries: Current status and future perspectives. *Aquacultural Engineering* 53, 2-13.

Danish Ministry of Environment, 2012. Bekendtgørelse om miljøgodkendelse og samtidig sagsbehandling af ferskvandsdambrug (Executive

order on the environmental approval and handling of freshwater aquaculture systems). Lovtidende A nr. 130. Miljøstyrelsen, Miljøministeriet, Denmark (in Danish).

Díaz, V., Ibañez, R., Gómez, P., Urtiaga, A.M., Ortiz, I., 2012. Kinetics of nitrogen compounds in a commercial marine recirculating aquaculture system. *Aquacultural Engineering* 50, 20-27.

Ebeling, J.M., Sibrell, P.L., Ogden, S.R., Summerfelt, S.T., 2003. Evaluation of chemical coagulation-flocculation aids for the removal of suspended solids and phosphorus from intensive recirculating aquaculture effluent discharge. *Aquacultural Engineering* 29, 23-42.

Glavic, P., Lukman, R., 2007. Review of sustainability terms and their definitions. *Journal of Cleaner Production* 15, 1875-1885.

Jewell, W.J., Cummings, R.J., 1990. Expanded bed treatment of complete recycle aquaculture systems. *Water Science and Technology* 22, 443-450.

Jokumsen, A. Svendsen, L., 2010. Farming of Freshwater Rainbow Trout in Denmark. DTU Aqua, National Institute of Aquatic Resources. Report no 219-2010, DK. 47 pp.

Letelier-Gordo, C.O. Daalsgaard, J., Suhr, K., Ekmann, K.S., Pedersen, P.B., 2015. Reducing the dietary protein:energy (P:E) ratio changes solubilization and fermentation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) faeces. *Aquacultural Engineering*. 66, 22-29

Letelier-Gordo, C.O., Larsen, B., Daalsgaard, J., Pedersen, P.B., 2017. The composition of readily available carbon sources produced by incomplete anaerobic digestion of fish faeces is affected by dietary protein:energy ratios. *Aquacultural Engineering*. 77, 27-32.

Letterman, R., 1999. Coagulation and Flocculation. In *Water quality and Managemet*, American water works association, 5 edition, Mc-Graw-Hill, INC. NY, US. 66 pp.

Martins, C.I.M., Eding, E.H., Verdegem, M.C.J., HeinSSFoek, L.T.N., Schneider, O., Blancheton, J.E., Roque d'Orbcasteld, J., Verreth, A.J., 2010. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: a perspective on environmental sustainability. *Aquacultural Engineering* 43, 83-93.

Mirzoyan, N., Tal, Y., Gross, A. 2010. Anaerobic digestion of sludge from intensive recirculating aquaculture. *Aquaculture* 306: 1-6.

Suhr, K.I., Pedersen, P.B., Arvin, E., 2012. *End-of-pipe* denitrification using RAS effluent waste streams: Effect of C/N-ratio and hydraulic retention time. *Aquacultural Engineering* 53, 57-64.

Suhr, K.I., Letelier C.O., Letelier-Gordo, Lund, I., 2015. Anaerobic digestion of solid waste in RAS: effect of reactor type on the biochemical acidogenic potential (BAP) and assestment of the biochemical methane potential (BMP) by a batch assay. *Aquacultural Engineering* 65, 65-71.

van Rijn, J., 2013. Waste treatment in recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering* 53, 49-56.

Von Ahnen, M., Pedersen, P.B., Daalsgaard, J., 2016. Start-up performance of a woodchip bioreactor operated *end-of-pipe* at a commercial fish farm-A case study. *Aquacultural Engineering* 74, 96-104.

Zhang, X., Hu, J. Spanjers, H., Van Lier, J.B., 2014. Performance of inorganic coagulants in the treatment of backwash waters from a brackish aquaculture recirculation system and digestibility of salty sludge. *Aquacultural Engineering* 61, 9-16.